

明 細 書

摩擦抵抗低減船及び船体の摩擦抵抗低減方法

技術分野

本発明は、船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減させるものである。

背景技術

日本国の公開公報である特開昭50-83992号、特開昭53-136289号、特開昭60-139586号、特開昭61-71290号、実開昭61-39691号及び実開昭61-128185号等には、上記摩擦抵抗低減船に係わる技術が開示されている。摩擦抵抗低減船は、航行中の船舶の船体外板から空気等の気体を水中に吹き出して船体外板の表面に多数の微小気泡（マイクロバブル）を介在させ、このマイクロバブルの介在によって水と船体との間に作用する摩擦抵抗を低減させるものである。このような摩擦抵抗の低減によって船舶の航行動力の削減（燃料節約）が実現され、究極的に船舶の運行に係わるコストの低減を実現することができる。

本出願人は、このような摩擦抵抗低減船に係わる技術として、船首近傍において船底に比較して水圧（静圧）が小さい船側から空気を吹き出し、この気体噴出によって水中に生成されるマイクロバブルを流線に沿って移動させることにより船底の広い範囲をマイクロバブルで覆う技術をこれまでに提案している。この技術は、船首近傍の流線が船側から船底に回り込むように形成される点に着目し、船底よりも静圧が低い船側から気体を吹き出すことにより、気体噴出に要する動力の削減を図り、よって摩擦抵抗の低減による燃料節約の目減りを抑えるものである。

ところで、本出願人による上記従来技術では、船底の広い範囲をマイクロバブルで覆うことができるが、十分なものではなかった。すなわち、船首近傍における左舷船側及び右舷船側の各流線は、各々に左舷側及び右舷側から船底に回り込

んで船底にマイクロバブルを拡散させるが、船底の左舷側領域と右舷側領域とをマイクロバブルで覆うのみであり、船底中央部までマイクロバブルで覆うことができないという問題点がある。

また、このような従来技術では、水中に気泡を発生させる方法として、ポンプやブローアなどの装置によって加圧した気体を船体に設けられた複数の孔や多孔板から水中に噴出している。しかしながら、加圧した気体を水中に噴出する方法であると、加圧用の装置を稼動するエネルギーが必要となり、摩擦抵抗の低減によって減少したエネルギーの節約分が目減りしてしまうという問題点がある。特に、大型船の船底など、比較的水深の大きい箇所において水中に気体を噴出する際には、水圧（静水圧）に対応して高い圧力に気体を加圧する必要があり、多大なエネルギーを消費してしまう。また、加圧用の装置を船体に設置するにあたり、設備コストや施工コストなど多大なコストが生じてしまう。

さらに、上記従来技術では、気体空間から水中に気体を導く構造として、加圧用の装置や排出口に対してパイプやダクトなどの配管を船体内部に張り巡らせるものが一般的である。しかしながら、上述した摩擦抵抗低減船では、水中に気体を導く構造として船体内部に配管を張り巡らせているので、他の装置との干渉を避けて配管を敷設しなければならず、建造作業に多くの労力を要したり、その構造に多くの部材を必要としたりするなど、建造コストの増加を招きやすい。

発明の開示

本発明は、上述する事情に鑑みてなされたものであり、以下の点を目的とするものである。

- (a) マイクロバブルの発生に要する動力を節減する。
- (b) 船底のより広い範囲をマイクロバブルで覆う。
- (c) 摩擦抵抗の低減による燃料節約のさらなる向上を図る。
- (d) 少ないエネルギー消費で摩擦抵抗低減を行って、航行時のエネルギー消費を効果的に節減する。
- (e) 水中に気泡を効率よく混入させ、効果的な摩擦抵抗低減を実施する。
- (f) 船体の建造コストを低減する。

そして、このような目的を達成するために、本発明では、最も包括的な手段として、船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減させる摩擦抵抗低減船及び船体の摩擦抵抗低減方法として、船体の航行に伴って気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成し、気体空間から水中の負圧箇所に気体を導くことにより前記没水表面に気泡を発生させるという手段を採用する。

このような構成によれば、特別な動力を要することなく、かつ、極めて簡単な手段によって、気体を気体空間から負圧箇所に供給して没水表面に気泡を発生させることが可能である。したがって、このような本発明によれば、上記各目的を達成することができる。

また、上記各目的を達成するために、本発明では、船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減させる摩擦抵抗低減船において、船首の喫水線下に設けられた水取入口から取り入れた水に対して負圧状態を作ることにより水上の空気を水中に噴出して微小気泡を生成し、この微小気泡を水と共に船底の水排出口に排出する気泡発生手段を具備するという構成を採用する。

また一方、船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減させる摩擦抵抗低減船において、船体外板において、喫水線下の船首に設けられた水取入口と船底に設けられた水排出口とにかけて傾斜状に設けられると共に、その途中部位に空気排出口が設けられた水送通路と、水上から前記空気排出口にかけて設けられた空気送通路と、前記水送通路の内側に突出する状態で前記空気排出口を覆うように設けられると共に、その突出頂部近傍に空気噴出口が設けられた気体噴出部材とを備え、前記空気噴出口の位置を、その静圧が水上の大気圧に対して負圧状態となるように設定するという構成を採用する。

さらには、船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減させる方法において、船首の喫水線下に設けられた水取入口から取り入れた水に対して負圧状態を作ることにより水上の空気を水中に噴出して微小気泡を生成し、この微小気泡を水と共に船底の水排出口に排出するという方法を採用する。

このような摩擦抵抗低減船あるいは摩擦抵抗低減方法によれば、喫水線下の船

首の水取入口から取り入れた水に負圧状態を作って水上の空気を噴出して船底の水排出口に排出するので、空気を水中に噴出するための加圧機等の付加的な動力を必要とすることなく、水中に微小気泡を発生させることができる。また、水取入口が船首に、水排出口が船底に設けられているので、摩擦抵抗低減船が航行することによって水取入口から無理なく取り入れて水排出口に排出される。したがって、水の取り入れに係わる抗力の発生を抑えつつ微小気泡を発生させることができる。また、水排出口が船底に設けられているので、船底を効果的に微小気泡で覆って摩擦抵抗を効果的に低減することが可能であり、よって摩擦抵抗の低減による燃料節約の向上を実現することができる。さらには、上記水送通路と空気送通路と気体噴出部材とを備え、空気噴出口の位置を、その静圧が水上の大気圧に対して負圧状態となるように設定するので、極めて簡単な構成で、かつ空気を水中に噴出するための加圧機等の付加的な動力を必要とすることなく、水中に微小気泡を発生させることが可能である。したがって、これによっても摩擦抵抗を効果的に低減することができる。

また、上記各目的を達成するために、本発明では、船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減方法において、船体の航行に伴って気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成し、気体空間から水中の負圧箇所に気体を導くとともに、局所的に渦度が大きい水の流れを形成するという方法を採用する。

また、船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減船において、気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成するための負圧形成部と、気体空間から水中の負圧箇所に気体を導くための流体通路と、局所的に渦度が大きい水の流れを形成する離脱促進部とを備えるという構成を採用する。

このような本願発明の基本原理について以下に説明する。

一般に、流体は、その周囲に圧力勾配が生じると、高圧側から低圧側に向けた力（圧力勾配力）を受け、流動が誘起される。したがって、気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成し、気体空間の気体を水中の負圧箇所に導くこと

により、圧力勾配力を利用して所定の深さの水中に気体を送り込むことが可能となる。

図4は、水中に負圧箇所を形成するための負圧形成部を備えた摩擦抵抗低減船を模式的に示している。船体1が所定の船速 V_s で航行すると、船体1に対して相対的な水の流れ2が形成される。このとき、例えば負圧形成部3によって水の流路が狭められると、水の流速が大きくなり、局所的に静水圧 P_{wa} が下がる（ベルヌーイの定理）。このとき、水の流速を V_{wa} 、気体空間の圧力（大気圧）を P_a 、水の密度を ρ 、重力加速度を g 、水深を H_{wa} とすると、静水圧 P_{wa} は、下式（1）によって表される。

$$P_{wa} = P_a + \rho \cdot g \cdot H_{wa} - \rho \cdot (V_{wa}^2 - V_s^2) / 2 \quad (1)$$

この式（1）から明らかなように、水の流速 V_{wa} が次式を満たすことにより、下式（2）に示されるように、水中に大気圧 P_a に比べて低圧となる負圧箇所4が形成される。

$$\rho \cdot g \cdot H_{wa} - (V_{wa}^2 - V_s^2) / 2 < 0 \quad (2)$$

この負圧箇所4が水中に形成されると、上述した圧力勾配力により、気体が流体通路5内を流動し、水中に送り込まれる。このようにして負圧箇所4を形成して水中に気体を送り込む場合（負圧方式）、気体を加圧する必要がないため、従来の加圧方式に比べ、水中に気体を送り込むときに消費されるエネルギーが少ない。また、水中に送り込まれた気体を気泡6として水に混入させ、多数の気泡6を船体1の没水表面に介在させることにより、船体の摩擦抵抗が低減される。

ところで、水中の気泡6には、水の流れにより様々な力が作用する。その力の一例を図5の表1に示す。例えば図4に示すように、負圧形成部3が船底から突出して形成されている場合、流体通路5内を流動した気体は、気体と液体（水）との境界面7（気液界面）に到達した後、負圧箇所4による圧力勾配力と、次に説明する揚力との作用を受けて気泡6として水中に移動し、その後、抗力（粘性力）により水に乗って流れると考えられる。揚力（Lift Force）は、気泡6の周囲の水の流れ2が渦度を有するときに生じるものであり、その力の方向は、渦度ベクトル（Vorticity Vector of Liquid） ω と気液相対速度ベクトル（Relative Velocity Vector） u_s との外積によって得られるベクトルの逆方向である。

また、その大きさは気泡の体積 A_v と液体の密度 ρ とに比例する。すなわち揚力 L_f は、次式 (3) によって表される。

$$L_f = -\rho \cdot A_v \cdot (u_s \times \omega) \quad (3)$$

ただし、この揚力 L_f は Auton の慣性揚力である。低レイノルズ数時には Saffman の揚力が作用し、渦度の $1/2$ 乗に比例するようになる。なお、両者とも作用方向は同じである。

船底の境界層には、一般に、渦度を有する流れが船体外板の表面近傍に集中しており、上述した各ベクトルは図 6 に示す向きとなる。この図 6 から分かるように、船底における揚力 L_f は、船体外板から離れる方向、すなわち気液界面 7 から水中に気泡 6 が離脱する方向に作用する。

ところが、負圧形成部の形状によっては、気泡に対して、気液界面に押し戻す方向に比較的大きな力（抵抗力）が作用することがある。例えば、図 4 に示す負圧形成部 3 に沿って水が流れる場合、水中の気泡 6 に対する抵抗力として、次に説明する付加慣性力と圧力勾配力が作用する。付加慣性力は、液体（水）中に置かれた気泡の付加質量による慣性力であり、気液の密度差を $1/800$ とすると、気泡内の気体質量自体に作用する慣性力に比べて 400 倍の大きさとなる。また、水の慣性力と比べたとき、気泡の慣性力 + 付加慣性力は、 $1/2$ の大きさである。このことから、同じ外力が作用したとき、気泡は水の $1 + 1 / (1/2) = 3$ 倍の加速度を生じることになる（ただし、抗力を無視したときの最大値）。

すなわち、図 7 に示すように、湾曲した物体表面 8 に沿って水及び気泡 6 が流れる場合、凹部である箇所 PA1 で水の流れ 2 が下向きに変わるとき、気泡 6 は水の 3 倍の加速度で下降する。また、凸部である箇所 PA2 で水の流れ 2 が上向きに変わるとき、気泡 6 は水の 3 倍の加速度で上昇する。したがって、前述した図 4 の負圧形成部 3 に沿って水が流れる場合、負圧形成部 3 の頂部の曲率（凸部）により、負圧箇所 4 において水の流れ 2 が上向きに変わるのに伴い、気泡 6 に対して、気液界面 7 に押し戻す方向に付加慣性力が作用する。

また、この図 4 の場合、負圧箇所 4 が水中の他の箇所にくらべて低圧であることから、負圧箇所 4 に位置する気泡 6 に対して、気液界面 7 に押し戻す方向に圧力勾配力が作用する。そして、このような気液界面に押し戻す方向の力（抵抗力）

が、気泡に対して大きく作用すると、気液界面から水中に気泡が離脱しにくくなり、水に混入される気泡の量が抑制されて、船体の摩擦抵抗が効果的に低減しなくなる恐れがある。

そこで、気液界面から水中に気泡が移動するように水の流れを形成して、気泡の離脱に対して抵抗となる力を小さくすることにより、気液界面から気泡が容易に離脱し、水に混入される気泡の量が増える。すなわち、局所的に渦度が大きい水の流れを形成することにより、気泡に対して、揚力が離脱方向に作用するようになり、気液界面からの気泡の離脱が促進される。

このような基本原理に基づく本願の摩擦抵抗低減方法によれば、水中に負圧箇所を形成することにより、圧力勾配力を利用して、気体を加圧する場合に比べて少ないエネルギー消費で水中に気体を送り込み、摩擦抵抗低減を行うことができる。また、局所的に渦度が大きい水の流れを形成することにより、揚力を利用して、境界面からの気泡の離脱を促進させ、水に混入される気泡の量を増やすことができる。したがって、効果的な摩擦抵抗低減を実施し、航行時のエネルギー消費を節減することができる。

また、本願の摩擦抵抗低減船によれば、負圧形成部を備えることにより、水中に負圧箇所を形成し、圧力勾配力を利用して、気体を加圧する場合に比べて少ないエネルギー消費で水中に気体を送り込み、摩擦抵抗低減を行うことができる。また、離脱促進部により形成される水の流れにより、揚力を利用して、境界面からの気泡の離脱を促進させ、水に混入される気泡の量を増やすことができる。したがって、効果的な摩擦抵抗低減を実施し、航行時のエネルギー消費を節減することができる。さらに、気体を加圧する装置が不要となり、船体の建造コストを容易に低減することができる。

さらに、上記目的（d）～（f）を達成するために、船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減船において、気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成するために、船体の没水表面から突出して設けられる負圧形成部と、水中の負圧箇所に向けて気泡を放出するための排出口と、気体空間から水中に気体を導くために、一端が気体空間に開放されるとともに他

端が前記排出口を介して水中に開放される流体通路とを備え、前記排出口を、船体の没水表面に対して斜めに配設された斜面に設けるという構成を採用する。

このような摩擦抵抗低減船によれば、負圧形成部によって気体空間に対して低圧となる負圧箇所が水中に形成されるので、圧力勾配力により、流体通路を介して気体空間から水中に気体が導かれ、排出口を介して水中に気泡が放出される。排出口は船体の没水表面に対して斜めに配設された斜面に設けられているので、没水表面の所定領域内において、排出口の開口面積を容易に広くすることが可能である。さらに、この排出口が設けられた斜面は船体の没水表面に設けられた窪みの内部から外部に亙って配設されているので、窪みの内部に排出口の少なくとも一部を配することで、開口面積の広い排出口を設ける場合にも、船体の没水表面からの斜面の突出高さを抑制することが可能となる。したがって、水の流れに対する抗力増加を抑制しつつ、開口面積の広い排出口から多量の気泡を放出することが可能となる。

そして、この結果として、圧力勾配力を利用することにより、気体を加圧する場合に比べて少ないエネルギー消費で水中に気体を送り込み、船体の摩擦抵抗を低減することができる。また、気泡を放出するための排出口が船体の没水表面に対して斜めに配設された斜面に設けられ、この斜面が船体の没水表面に設けられる窪みの内部から外部に亙って配設されているので、船体の没水表面から物体が突出することによって生じる水の流れに対する抗力増加を抑制しつつ、開口面積の広い排出口から多量の気泡を水中に放出することができる。したがって、多量の気泡によって、効果的な摩擦抵抗低減を実施し、航行時のエネルギー消費を節減することができる。また、気体を加圧する装置が不要となり、船体の建造コストを容易に低減することができる。

さらに、本発明では、上記目的（d）、（e）を達成するために、船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減船において、気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成するために、船体の没水表面から突出して設けられる負圧形成部と、水中の負圧箇所に向けて気泡を放出するために、前記負圧形成部の後方に設けられる排出口と、気体空間から水中に気体を導

くために、一端が気体空間に開放されるとともに、他端が前記排出口を介して水中に開放される流体通路と、前記負圧箇所に向けて気体を供給する気体供給装置とを備える構成を採用する。

また、船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減方法において、船体の航行に伴って気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成し、気体空間から水中の負圧箇所に気体を導いて、水中に気泡を放出するとともに、所定の装置によって負圧箇所に向けて気体を供給するという方法を採用する。

このような摩擦抵抗低減船あるいは摩擦抵抗低減方法によれば、負圧形成部によって気体空間に対して低圧となる負圧箇所が水中に形成されるので、圧力勾配力により、流体通路を介して気体空間から水中に気体が導かれる。また、気体供給装置によって流体通路内に気体を供給することにより、流体通路内を流れる気体の量が増加し、排出口から多量の気泡が放出される。この結果として、負圧形成体の一部を船体の没水表面から突出して配することにより、圧力勾配力を利用して、少ないエネルギー消費で水中に気体を送り込み、船体の摩擦抵抗を低減することができる。また、気体供給装置によって流体通路内に気体を供給することにより、少ないエネルギーで流体通路内を流れる気体の量を増加させ、排出口から多量の気泡を放出させることができる。したがって、多量の気泡によって、効果的な摩擦抵抗低減を実施し、航行時のエネルギー消費を節減することができる。

また、本発明では、上記目的（d）～（f）を達成するために、船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減方法において、船体の航行に伴って気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成し、気体空間から水中の負圧箇所に気体を導くとともに、前記負圧箇所を発達させる循環流れを翼によって水中に生じさせるという方法を採用する。

船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減船においては、船体の没水表面に設けられ、気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成する負圧形成部と、前記負圧形成部の後方に設けられ、水中の負圧箇所に向けて気泡を放出する排出口と、一端が気体空間に開放されるとともに他端

が前記排出口を介して水中に開放される流体通路とを備え、前記負圧形成部に翼状の断面形状に形成された翼状部材を配設するという構成を採用する。

このような摩擦抵抗低減船あるいは摩擦抵抗低減方法によれば、船体の航行に伴って気体空間に対して低圧となる負圧箇所が水中に形成されるので、圧力勾配力によって、気体空間から水中に気体が導かれ、水中に気泡が放出される。このとき、翼によって水中に循環流れを生じさせて負圧箇所を発達させることにより、圧力勾配力が増して多量の気体が水中に導かれる。また、この循環流れによって船体に上向きの揚力を作用させることにより、船体の浸水面積を減少させることが可能となる。そして、この結果として、水中に負圧箇所を形成することにより、圧力勾配力を利用して、気体を加圧する場合に比べて少ないエネルギー消費で水中に気体を送り込み、摩擦抵抗低減を行うことができる。また、水中に翼によって循環流れを生じさせて負圧箇所を発達させることにより、水に混入される気泡の量を増やすことができる。さらに、循環流れによって船体に揚力を作用させることにより、船体の浸水面積を減少させることができる。したがって、効果的な摩擦抵抗低減を実施し、航行時のエネルギー消費を節減することができる。

さらに、本発明では、上記目的（f）を達成するために、船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減船において、水中に気泡を放出するために船体の没水表面に設けられる排出口と、一端が気体空間に開放されるとともに他端が前記排出口を介して水中に開放される流体通路とを備え、前記流体通路の少なくとも一部を、船体の外殻を構成する部材によって形成するという構成を採用する

このような摩擦抵抗低減船によれば、船体の外殻を構成する部材によって流体通路を形成するので、水中に気体を導くための配管を新たに敷設する必要がなく、部材や建造作業に要する労力を軽減して、建造コストの低減化を図ることが可能となる。また、流体通路を形成するダクトを船体の補強用の部材とすることにより、ダクトを船体の任意の位置に設けたり多数設けたりするなど設計の自由度を高く保つことが可能である。さらに、流体通路を分けて形成することにより、複数の流体通路を選択的に用いるといったことが可能となる。

図面の簡単な説明

図 1 は、本発明の第 1 実施形態に係わる摩擦抵抗低減船の要部の側面図及び該要部の拡大断面図である。

図 2 は、上記第 1 実施形態に係わる摩擦抵抗低減船の底面図である。

図 3 A は、上記第 1 実施形態に係わる摩擦抵抗低減船を船首前方から見た第 1 の平面図である。

図 3 B は、上記第 1 実施形態に係わる摩擦抵抗低減船を船首前方から見た第 2 の平面図である。

図 4 は、本発明の第 2 実施形態に係わる気泡発生方法を示す概念図である。

図 5 は、上記第 2 実施形態において、水の流れによって水中の気泡に作用する力の一例を示す表（表 1）である。

図 6 は、上記第 2 実施形態において、船底の気泡に作用する力を示す模式図である。

図 7 は、上記第 2 実施形態において、曲面に沿って水と気泡とが流れる様子を
示す模式図である。

図 8 A は、上記第 2 実施形態に係わる摩擦抵抗低減船の概略的構成図である。

図 8 B は、上記図 8 A における気泡発生装置の詳細構成図である。

図 9 は、上記図 8 B に示す負圧形成部の構成を概略的に示す斜視図である。

図 10 A は、上記第 2 実施形態における船体の摩擦抵抗低減方法を示す第 1 の概念図である。

図 10 B は、上記第 2 実施形態における船体の摩擦抵抗低減方法を示す第 2 の概念図である。

図 11 は、上記第 2 実施形態における摩擦抵抗低減船の概略的構成図である。

図 12 は、上記図 11 に示す負圧形成部の構成を概略的に示す斜視図である。

図 13 A は、上記図 11 に示す負圧形成部の配置位置と水の流れとの関係を示す第 1 の状態図である。

図 13 B は、上記図 11 に示す負圧形成部の配置位置と水の流れとの関係を示す第 2 の状態図である。

図 1 3 C は、上記図 1 1 に示す負圧形成部の配置位置と水の流れとの関係を示す第 3 の状態図である。

図 1 4 A は、本発明の第 3 実施形態に係る摩擦抵抗低減船の概略的構成図である。

図 1 4 B は、上記図 1 4 A における気泡発生装置 1 1 の拡大図である。

図 1 5 は、上記図 1 4 B の負圧形成部 2 3 の全体構成を示す斜視図である。

図 1 6 は、上記第 3 実施形態に係る船体の摩擦抵抗低減方法を示す概念図である。

図 1 7 A は、本発明の第 4 実施形態に係る摩擦抵抗低減船の概略的構成図である。

図 1 7 B は、上記図 1 7 A における気泡発生装置 1 1 の拡大図である。

図 1 8 は、上記第 4 実施形態に係る船体の摩擦抵抗低減方法を示す概念図である。

図 1 9 A は、本発明の第 5 実施形態に係る摩擦抵抗低減船の概略的構成図である。

図 1 9 B は、上記図 1 9 A における気泡発生装置 1 1 の拡大図である。

図 2 0 は、上記第 5 実施形態における流体案内体の一部を示す斜視図である。

図 2 1 は、図 1 9 B に示す A 矢視図である。

図 2 2 A は、上記第 5 実施形態に係る船体の摩擦抵抗低減方法を示す第 1 の概念図である。

図 2 2 B は、上記第 5 実施形態に係る船体の摩擦抵抗低減方法を示す第 2 の概念図である。

図 2 3 A は、本発明の第 6 実施形態に係る摩擦抵抗低減船の構成図である。

図 2 3 B は、上記図 2 3 A における気泡発生装置 1 1 の拡大図である。

図 2 4 A は、上記第 6 実施形態における摩擦抵抗低減船において、ダクトの配設状態を概略的に示す図であり、正面から見た船体の縦断面図である。

図 2 4 B は、上記第 6 実施形態における摩擦抵抗低減船においてダクトの断面を示す拡大図である。

図 2 4 C は、上記第 6 実施形態における摩擦抵抗低減船において、船首近傍の

ダクトの配設状態を甲板側から見た平面図である。

図 25 は、上記第 6 実施形態における摩擦抵抗低減船の変形例を示す図であり、当該摩擦抵抗低減船を船底側から見た平面図である。

なお、上記各図面では、第 1 実施形態から第 6 実施形態までの各実施形態において、同一の参照符号を重複して使用している。しかし、これら重複使用されている参照符号は、各実施形態間において何等関連を持つものではない。例えば、第 1 実施形態を説明するための上記図 1，図 2，図 3 A 及び図 3 B に使用されている参照符号の中には他の実施形態でも使用されているものがあるが、当該参照符号は、他の実施形態で使用されている同一の参照符号とは何等関連性を持たない。

発明を実施するための最良の形態

A：第 1 実施形態

以下、図面を参照して、本発明に係わる摩擦抵抗低減船及び船体の摩擦抵抗低減方法の一実施形態について説明する。

図 1 は、本実施形態における摩擦抵抗低減船 S の要部側面図（右舷側）と一部拡大図、また図 2 は底面図である。これらの図において、符号 1 は船体外板、2 は水導入管（水送通路）、3 は空気吸入管（空気送通路）、4 は甲板、5 は噴出部材、A は空気、B はマイクロバブル、F は流線、W は海水（水）、WL は喫水線である。なお、これら構成要素のうち、水導入管 2 と空気吸入管 3 と噴出部材 5 とは、気泡発生手段 B P を構成するものである。

本摩擦抵抗低減船 S には、図 1 に示すように、船体外板 1 において喫水線 WL 下の船首 1 a から船底 1 b にかけて所定角度で傾斜する水導入管 2 が設けられると共に、甲板 4 から当該水導入管 2 の途中部位にかけて空気吸入管 3 が設けられている。この水導入管 2 は、図 2 に示すように、船首 1 a の船体幅方向中央部で甲板 4 から所定距離 h1 の部位に設けられた円形状の水取入口 2 a と船首 1 a 近傍の船底 1 b の船体幅方向中央部に設けられた楕円形状の水排出口 2 b とを接続するものであり、その途中部位には空気排出口 2 c が設けられている。

ここで、喫水線WLの位置は、本摩擦抵抗低減船Sの積荷の搭載量に応じて変化する。本実施形態において、上記距離h1は、例えば航行動力の負荷が最も重い状態においてマイクロバブルBによる摩擦抵抗低減効果が得られるように、本摩擦抵抗低減船Sが積荷を搭載した状態で水取入口2aの垂直位置が喫水線WLよりも下方となるように設定されている。しかし、本発明はこれに限定されるものではなく、本摩擦抵抗低減船Sが空荷の状態でも水取入口2aが喫水線WL下に位置するように距離h1を設計しても良い。

この図1では、水導入管2が一定管径の直管状に描かれているが、水導入管2を設けることによる当該摩擦抵抗低減船Sの造波抵抗の増大を最大限に抑えるために、その長手形状は水取入口2aに水（例えば海水W）が抵抗なく容易に流入するように、つまり海水Wの流入抵抗が最小となるように、かつ、水排出口2bから海水Wが抵抗なく容易に流出するように、つまり海水Wの流出抵抗が最小となるように設定されることが好ましい。

空気吸入管3は、甲板4に設けられた空気吸入口3aと上記空気排出口2cとを接続するものである。図1では、空気吸入管3の長手形状を屈曲形状に描いているが、この長手形状は空気Aの通過抵抗が最小となるように直管とすることが好ましい。

上記空気排出口2cの外側つまり水導入管2の内側には、図1の拡大図に示すように、ドーム形状の噴出部材5が空気排出口2cを覆うと共に水導入管2の中心に向かって突出するように設けられている。この噴出部材5の頂部には空気噴出口5aが設けられており、上記空気吸入口3aから空気吸入管3に吸入された空気Aは、空気噴出口5aから水導入管2内に噴出するようになっている。

ここで、噴出部材5の3次元形状は、水導入管2内を流れる海水Wに対する抗力が極力小さくなるように、つまり抗力係数が最小となるように設定されている。この噴出部材5の高さ寸法Hは、後述するように当該空気噴出口5aの位置における水導入管2の横断面積を所望の値に設定することにより空気噴出口5aにおける水圧（静圧）が空気吸入口3aの圧力（大気圧）に対して負圧状態となるように、すなわち空気Aが空気噴出口5aから海水W中に噴出するように設定される。また、甲板4（空気吸入口3a）から空気噴出口5aまでの距離h2も、後

述するように空気噴出口 5 a における海水 W の静圧が負圧状態となるように適宜設定されている。

このように本実施形態の気泡発生手段 B P は、水導入管 2 と空気吸入管 3 と噴出部材 5 とから極めて単純に構成されるものであり、施工が極めて容易であると共にコストが掛からない。したがって、既存船に対して追加施工することも比較的容易である。

次に、このように構成された摩擦抵抗低減船 S の作用について、上記各図を参照して詳しく説明する。

この摩擦抵抗低減船 S が巡航速度 v_1 で航行する状態では、船首 1 a の水取入口 2 a から水導入管 2 内に海水 W が順次流入して水排出口 2 b から船底 1 b に送出される。いま、水導入管 2 内を流れる海水 W の流速を近似的に巡航速度 v_1 と同等であると仮定すると、また、水導入管 2 内を流れる海水 W は密度 ρ が一定ないわゆる「非圧縮性流体」と見なすことができるので、水導入管 2 の断面積（横断面積）を S_1 、空気噴出口 5 a の位置における水導入管 2 の断面積を S_2 かつ流速を v_2 とした場合、周知の非圧縮性流体の「連続の式」に基づいて下式（4）が成立する。

$$v_1 \cdot S_1 = v_2 \cdot S_2 \quad (4)$$

すなわち、空気噴出口 5 a の位置における海水 W の流速 v_2 は、巡航速度 v_1 （＝水導入管 2 内を流れる海水 W の流速）に対して面積比率 S_1 / S_2 だけ増大させることができる。

また、空気噴出口 5 a 上の海水 W （単位質量の海水 W）については、位置エネルギーの基準位置（垂直位置）を喫水線 W L の高さとした場合に、近似的に剥離等が生じないとする、ベルヌーイの定理に基づいて下式（5）のエネルギー保存則が成立する。

$$v_2^2 / 2 + p / \rho + g \cdot h_3 = C \text{ (一定)} \quad (5)$$

ここで、「 p 」は空気噴出口 5 a における海水 W の静圧、「 g 」は重力加速度、 h_3 は空気噴出口 5 a の喫水線 W L からの高さ（図 1 参照）である。なお、この高さ h_3 は、喫水線 W L （基準位置）に対して下方の高さを示しているため負の値

である。

この式（５）に海水Wの静圧pについて解いて上式（４）の関係を代入すると下式（６）が得られる。

$$\begin{aligned} p &= \rho \cdot (C - v^2/2 - g \cdot h_3) \\ &= \rho \cdot \{C - (S_1/S_2) \cdot v^2/2 - g \cdot h_3\} \end{aligned} \quad (6)$$

この式（６）から容易に理解できるように、摩擦抵抗低減船Sの巡航速度 v_1 、空気噴出口5aの喫水線WLからの高さ h_3 、あるいは水導入管2の断面積 S_2 と空気噴出口5aにおける水導入管2の断面積 S_2 との面積比率 S_1/S_2 によって空気噴出口5aにおける海水Wの静圧pが設定される。このうち、巡航速度 v_1 については、摩擦抵抗低減船Sに係わる他の各種要因によって決定されるものであり、静圧pを設定するために調節することは現実的ではない。

したがって、摩擦抵抗低減船Sの設計パラメータとして上記高さ h_3 の絶対値を大きくすることつまり空気噴出口5aの水深を浅くすること、あるいは水導入管2の断面積 S_2 を小さく（噴出部材5の突出面積を大きく）して面積比率 S_1/S_2 を大きくすることにより、上記静圧pを大気圧に対して負圧状態とすることが現実的である。ただし、これら設計パラメータは、上記巡航速度 v_1 、摩擦抵抗低減船Sの船形や大きさ等に応じて適宜設定されるべきものである。

本実施形態では、船首1aから船底1bにかけて傾斜状に設けた水導入管2内に海水Wを取り込むようにしているので、当該水導入管2に設ける空気排出口2cの位置を適宜設計することにより、上記空気噴出口5aの喫水線WLからの高さ h_3 を容易に設定することができる。

また、本実施形態では、水導入管2に対する噴出部材5の突出面積によって上記面積比率 S_1/S_2 が設定される。この噴出部材5の存在によって水導入管2内を流れる海水Wに抗力が発生するが、上述したように噴出部材5の3次元形状を抗力係数が最小となるように設計することにより、突出面積に関わりなく抗力の発生を抑制することができる。しかし、このような噴出部材5による効力発生を考慮すると、噴出部材5の突出面積を極力抑えて、空気噴出口5aの喫水線WLからの高さ h_3 つまり水導入管2上の空気排出口2cの位置を極力水深の浅いところに設定して空気噴出口5aの負圧状態を実現されることが好ましい。

このように、空気噴出口 5 a における海水 W の静圧 p を大気圧に対して負圧状態とすることにより、空気吸入口 3 a から空気吸入管 3 内に空気 A が順次吸入されて空気噴出口 5 a から海水中に噴き出される。この結果、水導入管 2 内の海水中には多数のマイクロバブル B が生成される。

そして、このように生成されたマイクロバブル B は、海水 W の流線 F によって移送され水排出口 2 b から船底 1 b に放出される。本実施形態では、図 2 に示すように、水排出口 2 b が船底 1 b において船首 1 a 近傍の船体幅方向中央部に設けられているので、当該水排出口 2 b から放出されたマイクロバブル B は、船底 1 b における海水 W の流線に沿って船尾方向に拡散して船底 1 b の広い範囲を覆う。この結果、マイクロバブル B によって覆われた船底 1 b の船体外板 1 の摩擦抵抗が低減するので、摩擦抵抗低減船 S の航行動力が低減され、当該航行動力の発生に必要な燃料が節約される。

何れにしても、本実施形態では、水導入管 2 の長手方向の形状を最適設計することにより水導入管 2 を設けることによって生じる抗力を最小限に抑え、また当該水導入管 2 内に噴出部材 5 を設けることによって生じる抗力を噴出部材 5 の 3 次元形状を最適設計することにより最小限に抑えて、マイクロバブル B による摩擦抵抗の低減効果が上記各抗力の発生によって目減りしないように配慮する必要がある。

なお、本発明は、上記実施形態に限定されるものではなく、例えば以下のような変形が考えられる。

(a) 上記実施形態では、図 3 A に示すように、船首 1 a の船体幅方向中央部に 1 つ設けた水取入口 2 a から海水 W を取り入れるようにしたが、図 3 B に示すように、船首 1 a の右舷側に水取入口 2 a 1 を設けると共に左舷側に水取入口 2 a 2 を設けるようにしても良い。

(b) 上記実施形態では、水排出口 2 b を船底 1 b において船首 1 a 近傍の船体幅方向中央部に設け、マイクロバブル B の拡散によって船底 1 b のより広い範囲をマイクロバブル B で覆うようにしたが、水排出口 2 b の位置はこれに限定されるものではない。例えば船底 1 b に点在状に複数の水排出口を設けると共に、水導入管 2 を複数あるは途中で分岐させることによって各水排出口からマイクロバ

ブルBを船底1bに放出するようにしても良い。

(c) 上記実施形態では、空気吸入口3aを甲板4上に設けたが、空気吸入口3aの位置はこれに限定されるものではない。他の制約条件によって甲板4上に設けることができないような場合には、例えば喫水線WLより上方の船体外板1に空気吸入口を設けるようにしても良い。

B：第2実施形態

以下、本発明に係る船体の摩擦抵抗低減方法及び摩擦抵抗低減船を、タンカーやコンテナ船等の肥大船に適用した一実施形態について、図面を参照して説明する。図8Aにおいて、符号Mは摩擦抵抗低減船、10は船体、11は気泡発生装置、12は船体外板（没水表面）、13は推進器、14は舵、15は水面（喫水線）を示している。

前記摩擦抵抗低減船Mとしての肥大船は、例えばVLCC（Very Large Crude Oil Carrier）といったものがこれに該当し、他の種類の船舶に比べて、喫水線15下の船体外板12（没水表面）において船底の面積が船側に対して比較的大きく形成されている。さらに、船体10の前方に、気泡発生装置11が配されている。この気泡発生装置11は、図8Bに示すように、船体10の没水表面12に配される負圧形成部20と、船体10を貫通しかつ喫水線15の上下において内部空間が開放される流体通路21とを備えている。

負圧形成部20は、航行時における船体10に対する相対的な水の流れを利用して、所定の船速Vsにおいて気体空間（大気）に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成するためのものである。ここでは、負圧形成部20は、後述するように気液界面からの気泡の離脱を促進する離脱促進部としての機能も有しており、船底における水の相対速度を特定箇所で大きくするとともに、鉛直方向上向きに凸となる湾曲した水の流れを形成するように構成されている。

この負圧形成部20の詳細について説明すると、負圧形成部20は、図9に示すように、船体の没水表面から水中に向かって突出して配されるとともに、没水表面12に対して所定の間隔で略平行に配される翼30と、翼30を支持するために翼30と船体外板12との間に配されるストラット31、32と、翼30に

対して船体側（本実施形態では船体内側）に配される流水案内体 33 とを備えている。

上記翼 30 の形状は、NACA 翼型、オジバル翼型など様々な翼型が適用可能であり、船体の形状及び船速に応じて定められる。ここでは、翼 30 は船体側に凸となるように形成される。また、翼 30 は、前縁 30a 及び後縁 30b を船体の進行方向 Dve に向け、翼面 30c, 30d を上下方向に向け、さらに、航行時において翼 30 に対して揚力が上向きに作用する（航行時において、上方を臨む翼面 30c 側の流速が下方を臨む翼面 30d 側の流速に比べて大きくなる）ように配置されている。

ストラット 31, 32 は、水平断面形状が水の流れに対して抵抗が少ない例えば翼型などの形状であり、前記翼 30 と没水表面 12 との間隔を規定するために所定の高さ Hst で形成されている。さらに、一方の端面が船体外板 12 に当接され他方の端面が翼 30 に当接されて取り付けられる。

流水案内体 33 は、航行中における水の流れを曲線状（湾曲状）に案内するためのものであり、一面が開放されたボックス状に構成され、船体外板 12 に設けられた開口 12a を船体 10 の内側から覆うように、開放端 33a を船体外板 12 に当接状態に固定される。また、流水案内体 33 は、翼 30 の形状に沿うように形成されており、船体 10 の幅方向（水平面内で船体 10 の進行方向 Dve 略垂直な方向）に平行かつ船体外板 12 からの高さが船体 10 の進行方向 Dve に沿って凸状に変化する（すなわち、鉛直方向上向きに凸状に湾曲する）湾曲面 33b を有している。さらに、この湾曲面 33b の中央付近において、貫通孔からなる排出口 33c が設けられている。

これらにより、負圧形成部 20 には、図 8B に示すように、船体の進行方向 Dve に沿って、離脱促進部として、鉛直方向上向きに凸となる湾曲した水路 34 が形成される。

また、負圧形成部 20 の各構成部材の形状や配置位置は、航行時に負圧形成部 20 における水の流れが所望の状態になるように、数値流体力学（CFD: Computational Fluid Dynamics）による流場解析によって設計されている。ここでは、所定の船速 Vs での航行時において、負圧形成部 20 付近における水の流れが

、次の a～d の条件を満たすように定められる。

条件 a：水路 34 における水の流速（絶対値）が船速 V_s に比べて大きくなり、かつ水路 34 の中央部 34b（図 8B 参照）における平均流速 V_{wa} が前述した式（2）を満たすこと。このとき、式（2）における ρ は海水の密度、 H_{wa} は喫水線から水路 34 までの距離（水深）とする。

条件 b：流水案内体 33 の排出口 33c 近傍に比べて翼面 30c 近傍の水の流速が大きくなること。

条件 c：排出口 33c から下降する水の流れを有すること。

条件 d：水路における水の流れに局所的に大きな渦度を有すること。

上述した条件 a を満たすために、負圧形成部 20 の各構成部材の形状や配置位置は、例えば、水路 34 の入り口における流路断面積に比べて内部（前部 34a、中央部 34b、後部 34c）の流路断面積が狭く、さらに、前部 34a 及び後部 34c に比べて中央部 34b の流路断面積が狭くなるように定められる。また、上述した条件 b を満たすために、例えば、流水案内体 33 の湾曲面 33b に比べて翼面 30c の全体的な曲率が小さくなる（曲率半径が大きくなる）ように定められる。また、上述した条件 c を満たすために、例えば、排出口 33c 近傍の湾曲面 33b に上向きに凸となるような曲面を有するように定められる。さらに、上述した条件 d を満たすために、例えば、水路 34 の流路断面積や形状が局所的に変化するように定められる。

一方、前記流体通路 21 は、前記負圧形成部 20 における流水案内体 33 に接続される気体導入管 35 の内部空間 36 からなっている。すなわち、流体通路 21 は、一端が気体導入管 35 の空気取入れ口 37 を介して気体空間（大気中）に開放されるとともに、他端が前記流水案内体 33 の排出口 33c を介して水中に開放されるようになっている。

気体導入管（AIP：Air Induction Pipe）35 は、船体 10 に貫通状態に、かつ負圧形成部 20 における流水案内体 33 に接続状態に敷設され、少ない圧力損失で所望の流量の流体が流動するように、その内部の断面積や形状が定められている。また、空気取入れ口 37 は、船体 10 における甲板の前部に配される。

なお、負圧形成部 20 及び気体導入管 35 の材質としては、例えば耐食処理さ

れた金属、あるいは樹脂など、主として表面が海水に対して耐食性を有し、さらに海成生物が表面に付着しにくいものが好ましく用いられる。

また、負圧形成部 20 は、船底の広さに応じて 1 つまたは複数配置され、これに応じて気体導入管 35 の配設状態が定められる。

次に、このように構成される摩擦抵抗低減船 M による船体の摩擦抵抗低減方法について、図 10 A 及び図 10 B を参照して以下説明する。

停船状態においては、流体通路 21 内に、船体 10 の周囲とほぼ同じ水位まで水（海水）が入り込んでいる。推進器 13（図 8 A 及び図 8 B 参照）の推力により船体 10 が航行状態になると、図 10 A に示すように、船体 10 に対して相対的な水の流れ 40 が形成される。航行状態において、船底では、負圧形成部 20 の翼 30 に沿って水が流れ、湾曲した水路 34 においてその流路が狭められることにより、水路 34 を流れる水の流速が大きくなり、静水圧が局所的に低下する。そして、船体 10 の航行速度が所定の船速 V_s （例えば標準航行速度）に達すると、水路 34 の中央部 34 b において、大気に対して低圧となる負圧箇所 41 が形成される（上記条件 a より）。

この場合にあつて、空気取入れ口 37 における圧力に比べ、負圧箇所 41 に面した排出口 33 c 付近の圧力が低いために、流体通路 21 内の流体（海水及び空気）に対して圧力勾配力 $P_f 1$ が作用し、流体通路 21 から海水が排出された後、空気取入れ口 37 から流入した空気が、流体通路 21 を流動して水中に送り込まれる。そして、水中に送り込まれた気体が気泡 42 として水に混入し、船体 10 の没水表面 12 の近傍に多数の気泡 42 が介在することにより、船体 10 の摩擦抵抗が低減される。

水中に空気を送り込むために必要なエネルギーは、主として気体の位置を変化させるためのエネルギーである。このエネルギーは、負圧形成部 20 により水の流動状態を変化させることで得られるものであり、気体を加圧して水中に噴出する場合に消費されるエネルギーに比べて少ない。そのため、船体 10 の摩擦抵抗低減により、航行時のエネルギー消費が効果的に低減される。

さらに、負圧箇所 41 の形成には、負圧形成部 20 の形状やレイノルズ数が主

な支配因子となり、水深による不利が生じにくいと考えられるため、本発明に係る技術は、大型船への適用にも有利である。また、気泡発生装置 11 は簡素な構成であり、気体を加圧するための装置が不要であることから、船体 10 の建造コストが少なく済むことはいうまでもない。

この場合にあつて、図 10 B に示すように、水路 34 により、上向きに凸となる湾曲した流れが形成されるために、排出口 33 c を通過した水は気液界面 43 から離れる方向に流れの向きを変えて下降する（上記条件 c より）。このとき、気泡 42 は水よりも大きな加速度で排出口 33 c から離れる運動をする。すなわち、気液界面 43 から気泡 42 が離脱する方向（離脱方向）に、気泡 42 に対して付加質量による慣性力（付加慣性力）が作用する。

さらに、水路 34 における翼面 30 c 近傍を流れる水の流速が、流水案内体 33 の排出口 33 c 近傍の水の流速に比べて大きい（上記条件 b より）ために、水中の負圧箇所 41 における圧力が気液界面 43 から水中に向かって低くなる。そのため、気泡 42 に対して、離脱方向に圧力勾配力 $P_f 2$ が作用する。

また、水路 34 の流路断面積（およびその形状）が局部ごとに変化するために、水路 34 の水の流れ 40 は局所的に大きな渦度を有する（上記条件 d より）。このとき、水の流れ 40 は、流線の曲がりが大きい水路 34 の中央部 34 b において大きな渦度を有する。そのため、気泡 42 に対して、流線が曲げられた向きと反対方向である下向き（離脱方向）に、気泡 42 に対して揚力 $L_f 1$ が作用する。そして、こうした離脱方向の力（付加慣性力 A_f 、圧力勾配力 $P_f 2$ 、揚力 $L_f 1$ ）により、気泡 42 に対して抵抗となる力が小さくなり、気液界面 43 からの気泡 42 の離脱が促進されるとともに、水中に空気を送り込むためのエネルギーが少なく済む。

すなわち、翼 30 と流水案内体 33 とにより離脱促進部としての水路 34 が形成され、この水路 34 によって、局所的な渦度を有しかつ湾曲した水の流れが形成されることにより、揚力 $L_f 1$ に加え、圧力勾配力 $P_f 2$ 、付加慣性力 A_f が作用し、気液界面 43 からの気泡 42 の離脱が促進され、水に混入される気泡の量が増える。

また、水の流れ 40 により、翼 30 に対して上向きの揚力が作用するために、

例えば船体 10 における船首側が上昇し、船体 10 の浸水面積が減少し、摩擦抵抗が減少しやすくなる。

負圧形成部 20 のストラット 31, 32 は、水路 34 の流路断面積を狭めるとともに、流線を変化させるために、負圧箇所 41 が形成される水路 34 の中央部 34b において上述した離脱方向の力を増加させるように有利に働く。

負圧箇所 41 において発生する気泡 42 の量は、その付近の環境条件から定まる飽和蒸気圧に影響を受ける。すなわち、水に溶解込める気体の量よりも多いものが気泡 42 として水中に存在することになる。したがって、気液界面 43 からの気泡 42 の離脱が促進されることにより、気液界面 43 の近くに停滞する気泡 2 が少なくなり、所望の量の気泡 42 が安定して水中に混入され、効果的な摩擦抵抗低減が確実に実施される。

なお、水中に混入された気泡 42 は、水深に応じた静水圧よりも低い内圧で形成されるため、一定の水深で気泡 42 が移動するとき（例えば船底に沿って気泡が移動するとき）に、負圧箇所 41 から離れるに従って気泡 42 に大きな水圧が作用し、徐々に気泡 42 の大きさが小さくなる。本出願人らのこれまでの研究によれば、比較的小さい気泡のほうが船体の摩擦抵抗を低減するのに好ましいとされている。したがって、負圧によって発生した気泡は、この点からも摩擦抵抗の低減に有利に働く。

図 11 は、上記摩擦抵抗低減船の変形例を示している。

この摩擦抵抗低減船 M2 は、上述した実施形態と異なり、気泡発生装置における負圧形成部が上下方向に移動するように構成されている。気泡発生装置 50 は、船体に固定状態に敷設される外筒 51 と、該外筒 51 内に着脱自在に、かつ軸方向（上下方向）に移動自在に收容される気体導入管（AIP）としての内筒 52 と、外筒 51 に対する内筒 52 の軸方向の位置（高さ）を調節するための位置調節部 53 とを備えている。内筒 52 は、一端に設けられた負圧形成部 54 を下方に向けた状態で外筒 51 の上端部の開口から挿入される。

負圧形成部 54 は、図 12 に示すように、管状部材 60 の端部を塞ぐように配設される板状部材 61 と、この板状部材 61 に対して所定の間隔で略平行に配さ

れる翼 6 2 と、翼 6 2 を支持するストラット 6 3, 6 4 と、前記板状部材 6 1 に設けられた排出口としての開口 6 5 を管状部材 6 0 の内側から覆うように配設される湾曲板 6 6 とを備えている。これらにより、負圧形成部 2 0 には、船体の進行方向に沿って、鉛直方向上向きに凸となる湾曲した離脱促進部としての水路 6 7 が形成される。また、流体通路 6 8 として、内筒 5 2 の内部空間は、湾曲板 6 6 と板状部材 6 1 との間隙 6 9 と前記排出口 6 5 とを介して下方に開放される。

図 1 1 に戻ると、位置調節部 5 3 は、航行状態に応じて、負圧形成部 5 4 の船底からの突出状態（突出高さ）を調節するためのものであり、内筒 5 2 を所定の位置に移動させるためのモータ等の図示しない駆動部、所定の位置に内筒 5 2 を固定するための図示しない固定部、等を含んで構成されている。

こうした構成の気泡発生装置 5 0 を備える摩擦抵抗低減船 M 2 は、航行状態に応じて位置調節部 5 3 により負圧形成部 5 4 の突出高さを変化させ、これにより負圧形成部 5 4 による抗力の増加を適切に抑制するとともに、負圧形成部 5 4 の近傍の水の流れを所望の状態に調節する。

例えば気泡による摩擦抵抗の低減効果が小さい停船中や低速航行時には、図 1 3 A に示すように、負圧形成部 5 4 を船体の内側（没水表面の内側）に配することにより、負圧形成部 5 4 による抗力の増加を抑制する。一方、所定の船速での航行時には、図 1 3 B 及び図 1 3 C に示すように、負圧形成部 5 4 を船底から水中に（下方に）突出させ、水中に気泡 7 0 を発生させて船体の摩擦抵抗を低減する。負圧形成部 5 4 の突出高さが変化すると、負圧形成部 5 4 の水路 6 7 に流入する時間あたりの水量が変化し、水路 6 7 における水の流速が変化する。これにより、負圧箇所 7 1 の状態（静水圧など）や気液界面からの離脱方向の力の大きさが変化し、水に混入される気泡 7 0 の量が変化する。

すなわち、負圧形成部 5 4 の突出高さを変化させることにより、負圧箇所 7 1 の圧力や負圧箇所 7 1 近傍の水の流れ 7 2 を制御し、気泡 7 0 の発生量を調節する。そして、船速に応じた適切な量の気泡 7 0 により摩擦抵抗低減が効果的に実施される。

さらに、気泡発生装置 5 0 は、メンテナンス時において、内筒 5 2 を外筒 5 1 から取り外し、清掃設備の整った環境のもとで内筒 5 2 の清掃を行うとともに、

外筒 51 の内壁面の清掃を行う。そのため、気泡発生装置 50 のメンテナンスに伴う手間が少ない。

なお、本実施形態において示した各構成部材の諸形状や組み合わせ等は一例であって、本発明の主旨から逸脱しない範囲において設計要求等に基づき種々変更可能である。例えば下記のような変更も含まれる。

本実施形態では、負圧形成部 20 は、負圧箇所を水中に形成するとともに、離脱方向の力を発生させる水の流れを形成するという 2 つの機能を有し、少ないスペースで効率的に気泡を水に混入させることができるという利点がある。しかしながら、負圧箇所を形成する機能（負圧形成部）と離脱を促進させる水の流れを形成する機能（離脱促進部）とを別々の手段に分けてもよい。機能別に手段を分けることにより、水中に混入される気泡の量が制御しやすくなる。

また、負圧形成部の翼の形状は、水中に対する抗力の増加をなるべく抑制するように設計される。したがって、上述した実施形態で示した翼は、翼面の平面形状が矩形のものに限らず、例えば三角形の翼面など、他の形状でもよい。また、本実施形態では、本発明を肥大船に適用した例を示したが、これに限るものではなく、高速船など他の船にも適用可能である。なお、負圧形成部の大きさや数、その配置場所といったものは、船体の形状に応じて適宜設定される。

C：第 3 実施形態

以下、本発明の第 3 実施形態に係る船体の摩擦抵抗低減船を、タンカーやコンテナ船等の肥大船に適用した一実施形態について説明する。

図 14 A において、符号 M は摩擦抵抗低減船、10 は船体、11 は気泡発生装置、12 は船体外板（没水表面）、13 は推進器、14 は舵、15 は水面（喫水線）を示している。摩擦抵抗低減船 M としての肥大船は、例えば V L C C（Very Large Crude Oil Carrier）といったものがこれに該当し、他の種類の船舶に比べて、喫水線 15 下の船体外板 12（没水表面）において船底の面積が船側に対して比較的大きく形成されている。さらに、船体 10 の前方（船首側）には、前記気泡発生装置 11 が配設されている。

気泡発生装置 11 は、図 14 B に示すように、船底に設けられた開口 12 a に

配設される流体案内体 20 と、この流体案内体 20 に接続される気体導入管 (AIP : Air Induction Pipe) 21 とを備えて構成されている。流体案内体 20 は、内部に空洞を有する略管状の部材として全体が構成されており、その軸方向の両端部には、前記気体導入管 21 もしくは船体外板 12 との接続用のフランジ 22, 23 が設けられている。また、船体外板 12 に接続される一方 (下方) の端部には、図 15 に示すように、軸方向に対して斜めに延在しか進行方向前方 (船首側) を臨む負圧形成部としての前方斜面 24 と、その背面側に配されかつ進行方向後方 (船尾側) を臨む後方斜面 25 とが設けられており、これらの斜面 24, 25 の縁部の一部が互いに合わせられて、略尖形状の突起が形成されるようになっている。なお、後方斜面 25 には、流体案内体 20 の空洞の開口として、貫通穴からなる排出口 26 が設けられている。

図 14 A に戻ると、気体導入管 21 は、主として管状の部材から構成され、船体をほぼ貫通状態に敷設されるとともに、フランジ 27 を介して前記流体案内体 20 に接続されている。この気体導入管 21 と流体案内体 20 とが接続されることによって、その内部空間として流体通路 30 が形成される。この流体通路 30 は、気体導入管 21 の空気取入れ口 21a を介して一端が気体空間 (大気) に開放されるとともに、他端が前記排出口 26 を介して水中に開放される。なお、流体通路 30 (流体案内体 20 及び気体導入管 21 の内部空間) は、少ない圧力損失で所望の流量の流体が流動するように、その断面積や形状が定められている。

ここで、気泡発生装置 11 の各構成部材の形状や配置位置は、航行時に流体案内体 20 の後方側における水の流れが所望の状態になるように、数値流体力学 (CFD : Computational Fluid Dynamics) による流場解析や航走試験等の結果に基づいて設計されている。

ここでは、所定の船速 V_s での航行時において、流体案内体 20 の後方側の水中に、船体に対する相対的な水の流れによって気体空間 (大気) に対して低圧となる負圧箇所が形成されるように、流体案内体 20 の前方斜面 24 が船体の没水表面 12 から所定の高さ H を突出した状態に配設されている。

また、流体案内体 20 が船体外板 12 に接続されることによって、船体の没水表面 12 に窪み 31 が形成され、流体案内体 20 の後方斜面 25 がこの窪み 31

内部から外部に亙って船体の没水表面 1 2 に対して斜めに配設され、後方斜面 2 5 に設けられた排出口 2 6 が後方を望みかつその一部が窪み 3 1 の内部に配されるとともに他部が船体の没水表面 1 2 から突出した状態に配されるようになって

いる。

なお、流体案内体 2 0 や気体導入管 2 1 の材質としては、例えば耐食処理された金属、あるいは樹脂など、主として表面が海水に対して耐食性を有し、さらに海成生物が表面に付着しにくいものが好ましく用いられる。また、気泡発生装置 1 1 は、船底の広さに応じて 1 つまたは複数配置される。なお、図 1 4 B に示す符号 2 8 , 2 9 は、フランジ接続用のパッキンである。

次に、上述のように構成される摩擦抵抗低減船 M による船体の摩擦抵抗低減方法について、図 1 6 を参照して以下説明する。

停船状態においては、流体通路 3 0 (図 1 4 B に示す流体案内体 2 0 及び気体導入 2 1 の内部空間) に、船体 1 0 の周囲とほぼ同じ水位まで水 (海水) が入り込んでいる。推進器 1 3 (図 1 4 A 参照) の推力により船体 1 0 が航行状態になると、船体 1 0 に対して相対的な水の流れ 4 0 が形成される。航行状態において、船底では、流体案内体の前方斜面 2 4 によって水の流路が狭められることにより、船底に沿って流れる水の流速が大きくなるとともに、その突出端の鋭い角により、水中に剥離域が形成され、これらにより、前方斜面 2 4 の背面側、すなわち後方斜面 2 5 側の水中における静水圧が局所的に低下する。そして、船体 1 0 の航行速度が所定の船速 V_s (例えば標準航行速度) に達すると、後方斜面 2 5 側の水中において、大気に対して低圧となる負圧箇所 4 1 が形成される。

このとき、空気取入れ口 2 1 a における圧力に比べ、負圧箇所 4 1 に面した排出口 2 6 の圧力が低いために、流体通路 3 0 内の流体 (海水及び空気) に対して圧力勾配力が作用し、流体通路 3 0 から海水が排出されるとともに、空気取入れ口 2 1 a から流入した空気が、流体通路 3 0 を流動して水中に送り込まれる。そして、水中に送り込まれた気体が気泡 4 2 として水に混入し、船体 1 0 の没水表面 1 2 の近傍に多数の気泡 4 2 が介在するようになり、船体 1 0 の摩擦抵抗が低減される。

水中に空気を送り込むために必要なエネルギーは、主として気体の位置を変化させるためのエネルギーである。このエネルギーは、流体案内体の前方斜面 24 により水の流動状態を変化させることで得られるものであり、気体を加圧して水中に噴出する場合に消費されるエネルギーに比べて少ない。そのため、船体 10 の摩擦抵抗低減により、航行時のエネルギー消費が効果的に低減される。

ここで、本実施形態では、水中に気体を放出するための排出口 26 が、船体の没水表面 12 に対して斜めに配設された後方斜面 25 に設けられているので、没水表面 12 に平行な面内に排出口を設けた場合に比べて、船体の没水表面 12 における所定の領域内に排出口 26 の開口面積を広くすることができる。さらに、この後方斜面 25 は窪み 31 の内部から外部に亙り船体の没水表面 12 を挟んだ両側に配設されており、窪み 31 の内部に排出口 26 の一部が配されるので、開口面積の広い排出口 26 を設ける場合にも、船体の没水表面 12 からの前方斜面 24（及び後方斜面 25）の突出高さが抑制され、水の流れ 40 に対して抵抗となりにくい。

したがって、本実施形態では、水の流れ 40 に対する抗力増加を抑制しつつ、開口面積の広い排出口 26 から多量の気泡 42 を放出することが可能となり、これにより、効果的な摩擦抵抗低減を実施することができる。

さらに、負圧箇所 41 の形成には、前方斜面 25 及び後方斜面 26 の形状やレイノルズ数が主な支配因子となり、水深による不利が生じにくいと考えられるため、本発明に係る技術は、大型船への適用にも有利である。

なお、水中に混入された気泡 42 は、水深に応じた静水圧よりも低い内圧で形成されるため、一定の水深で気泡 42 が移動するとき（例えば船底に沿って気泡が移動するとき）に、負圧箇所 41 から離れるに従って気泡 42 に大きな水圧が作用し、徐々に気泡 42 の大きさが小さくなる。本出願人らのこれまでの研究によれば、比較的小さい気泡のほうが船体の摩擦抵抗を低減するのに好ましいとされている。したがって、負圧箇所 41 において発生した気泡は、この点からも摩擦抵抗の低減に有利に働く。

また、気泡発生装置 11 は簡素な構成であり、気体を加圧するための装置が不要であることから、船体 10 の建造コストが少なくて済むことはいうまでもない

。なお、上述した実施形態において示した各構成部材の諸形状や組み合わせ等は一例であって、本発明の主旨から逸脱しない範囲において設計要求等に基づき種々変更可能である。例えば、上述した実施形態では、本発明を肥大船に適用した例を示したが、これに限るものではなく、高速船など他の船にも適用可能である。なお、気泡発生装置 11 の大きさや数、その配置場所といったものは、船体の形状に応じて適宜設定される。

D：第 4 実施形態

以下、本発明に係る船体の摩擦抵抗低減船を、タンカーやコンテナ船等の肥大船に適用した一実施形態について、図面を参照して説明する。

図 17 A において、符号 M は摩擦抵抗低減船、10 は船体、11 は気泡発生装置、12 は船体外板（没水表面）、13 は推進器、14 は舵、15 は水面（喫水線）を示している。摩擦抵抗低減船 M としての肥大船は、例えば V L C C（Very Large Crude Oil Carrier）といったものがこれに該当し、他の種類の船舶に比べて、喫水線 15 下の船体外板 12（没水表面）において船底の面積が船側に対して比較的大きく形成されている。さらに、船体 10 の前方（船首側）には、前記気泡発生装置 11 が配設されている。

気泡発生装置 11 は、図 17 B に示すように、船底に設けられた開口 12 a 配設される流体案内体 20 と、この流体案内体 20 に接続される気体導入管（A I P : Air Induction Pipe）21 とを備えて構成されている。流体案内体 20 は、内部に空洞を有する筒状（例えば円筒状）の部材として全体が構成されており、その軸方向の両端部には、前記気体導入管 21 もしくは船体外板 12 との接続用のフランジ 22、23 が設けられている。また、船体外板 12 への接続側（下側）の端面は、軸方向に対して斜めに形成され（斜面 24）、その斜面 24 には、流体案内体 20 内の空洞の開口として、貫通穴からなる排出口 25 が設けられており、この排出口 25（斜面 24）は、後方（船尾側）に向けて配されている。さらに、流体案内体 20 は、斜面 24 の一部が船体の没水表面 12 から突出して配されるとともに、負圧形成部として、側面 26 の一部が没水表面 12 に対して

垂直に突出した状態に配されている。

気体導入管 21 は、主として筒状の部材から構成され、船体 10 をほぼ貫通状態に敷設されるとともに、フランジ 27 を介して前記流体案内体 20 に接続されている。気体導入管 21 と流体案内体 20 とが接続されることによって、その内部空間として流体通路 30 が形成される。この流体通路 30 は、気体導入管 21 の空気取入れ口 21 a を介して一端が気体空間（大気）に開放されるとともに、端が前記排出口 25 を介して水中に開放されるようになっている。なお、流体通路 30（流体案内体 20 及び気体導入管 21 の内部空間）は、少ない圧力損失で所望の流量の流体が流動するように、その断面積や形状が定められている。

気泡発生装置 11 の各構成部材の形状や配置位置は、航行時に流体案内体 20 の後方における水の流れが所望の状態になるように、数値流体力学（CFD：Computational Fluid Dynamics）による流場解析や航走試験等の結果に基づいて設計されている。

すなわち、所定の船速 V_s での航行時において、船体 10 に対する相対的な水の流れによって気体空間（大気）に対して低圧となる負圧箇所が流体案内体 20 の後方側の水中に形成されるように、船体の没水表面 12 からの流体案内体 20 の側面 26 の突出高さなどが定められている。

また、この気泡発生装置 11 は、所定のタイミングで流体通路 30 内に気体を供給する気体供給装置 35 を備えている。この気体供給装置 35 は、ブロー（送風機）やポンプなど、気体空間から取り込んだ気体（空気）の運動状態を変化させることにより、その空気を供給配管 36 を介して流体案内体 20 内に流動させるものである。空気を供給するタイミングは、気体導入管 21 の空気取入れ口 21 a に設置される計測装置 37 の計測結果に基づいて、不図示の制御装置や作業によって定められる。ここでは、例えば気体導入管 21 内への空気の流入量が所定量以上になると、前記制御装置によって、気体供給装置 35 に対して空気供給の開始が指示されるようになっている。計測装置 37 としては、流量計や流速計など、気体の流れを計測可能なものが用いられる。

なお、流体案内体 20 や気体導入管 21 の材質としては、例えば耐食処理された金属、あるいは樹脂など、主として表面が海水に対して耐食性を有し、さらに

海成生物が表面に付着しにくいものが好ましく用いられる。また、気泡発生装置 11 は、船底の広さに応じて 1 つまたは複数配置されている。なお、図 17 B に示す符号 28, 29 は、フランジ接続用のバッキンである。

次に、上述のように構成される摩擦抵抗低減船 M による船体の摩擦抵抗低減方法について、図 18 を参照して以下説明する。

停船状態においては、流体通路 30（図 17 B に示す流体案内体 20 及び気体導入管 21 の内部空間）に、船体 10 の周囲とほぼ同じ水位まで水（海水）が入り込んでいる。推進器 13（図 17 A 参照）の推力により船体 10 が航行状態になると、体 10 に対して相対的な水の流れ 40 が形成される。

航行状態において、船底では、流体案内体 20 の側面 26 によって水の流路が狭められることにより、船底に沿って流れる水の流速が大きくなるとともに、側面 26 のその突出端の鋭い角により、水中に剥離域が形成される。これらにより、側面 26 の背面側、すなわち斜面 24 側の水中において、静水圧が局所的に低下する。そして、船体 10 の航行速度が所定の船速 V_s （例えば標準航行速度）に達すると、斜面 24 側の水中において、大気に対して低圧となる負圧箇所 41 が形成される。

このとき、空気取入れ口 21 a における圧力に比べ、負圧箇所 41 に面した排出口 25 の圧力が低いために、流体通路 30 内の流体（海水及び空気）に対して圧力勾配力が作用し、流体通路 30 から海水が排出されるとともに、空気取入れ口 21 a から流入した空気が、流体通路 30 を流動して水中に送り込まれる。そして、水中に送り込まれた気体が気泡 42 として水に混入し、船体 10 の没水表面 12 の近傍に多数の気泡 42 が介在することにより、船体 10 の摩擦抵抗が低減される。

水中に空気を送り込むために必要なエネルギーは、主として気体の位置を変化させるためのエネルギーである。このエネルギーは、船体の没水表面 12 から突出する流体案内体の側面 26 によって水の流動状態を変化させることで得られるものであり、気体を加圧して水中に噴出する場合に消費されるエネルギーに比べて少ない。そのため、船体 10 の摩擦抵抗低減により、航行時のエネルギー消費が効果的に

低減される。

ところで、この摩擦抵抗低減船Mでは、所定の船速 V_s で航行する場合、負圧箇所41によって生じる圧力勾配力がほぼ一定となるので、その圧力勾配力の作によって水中に放出される気泡42の量もほぼ一定である。そこで、本実施形態では、航行時のエネルギー消費をさらに効果的に低減することを目的として、気体供給装置35によって、所定のタイミングで流体通路30内に気体（空気）を供給する。すなわち、計測装置37によって計測される気体導入管21内への空気の流入量が所定量以上になると、不図示の制御装置あるいは作業（遠隔操作を含む）によって気体供給装置35が制御され、流体通路30内に空気が供給される。これにより、流体通路30内を流れる空気の量が増加し、排出口25から多量の気泡40が放出される。したがって、船体10の摩擦抵抗がさらに低減する。

このとき、流体通路30内は大気圧に対して負圧となっているので、流体通路30内に空気を供給するのに要するエネルギーはわずかである。つまり、供給配管36内の空気にも圧力勾配力が作用するので、その空気の運動を気体供給装置35によって促進させるだけで、多量の空気が流体通路30内に流入するようになる。したがって、この摩擦抵抗低減船Mでは、負圧箇所41によって生じる圧力勾配力に加え、気体供給装置35によって流体通路30内の空気の流動を支援することにより、少ないエネルギー消費で多量の気泡40を水中に放出することがでる。

また、本実施形態では、水中に気体を放出するための排出口25が、船体の没水表面12に対して斜めに設けられた斜面24に設けられている。そのため、没水表面12に平行な面内に排出口を設けた場合に比べて、船体の没水表面12の所定領域内における排出口の開口面積が広く、多量の気泡を放出するのに適している。

さらに、負圧箇所42の形成には、負圧形成部（流体案内体の側面26）の形状やレイノルズ数が主な支配因子となり、水深による不利が生じにくいと考えられるため、本発明に係る技術は、大型船への適用にも有利である。

なお、上述した実施形態において示した各構成部材の諸形状や組み合わせ等は

一例であって、本発明の主旨から逸脱しない範囲において設計要求等に基づき種々変更可能である。また、上述した実施形態では、本発明を肥大船に適用した例を示したが、これに限るものではなく、高速船など他の船にも適用可能である。た、気泡発生装置 11 の大きさや数、その配置場所といったものは、船体の形状に応じて適宜設定される。また、流体案内体 20（あるいは気体導入管 21）の断面形状は、円筒、角筒など内部を流れる流体に対する抵抗がなるべく少なくなるように任意に定められる。

E：第 5 実施形態

以下、本発明に係る摩擦抵抗低減船を、タンカーやコンテナ船等の肥大船に適用した一実施形態について、図面を参照して説明する。図 19 A において、符号 M は摩擦抵抗低減船、10 は船体、11 は気泡発生装置、12 は船体外板（没水表面）、13 は推進器、14 は舵、15 は水面（喫水線）を示している。摩擦抵抗低減船 M としての肥大船は、例えば V L C C（Very Large Crude Oil Carrier）といったものがこれに該当し、他の種類の船舶に比べて、喫水線 15 下の船体外板 12（没水表面）において船底の面積が船側に対して比較的大きく形成されている。さらに、船体 10 の前方（船首側）には、前記気泡発生装置 11 が配されている。

気泡発生装置 11 は、図 19 B に示すように、船底に設けられた開口 12 a に配設される流体案内体 20 と、この流体案内体 20 に接続される気体導入管（A I P : Air Induction Pipe）21 とを備えて構成されている。流体案内体 20 は、内部に空洞を有する筒状の部材として全体が構成されており、その軸方向の両端部には、前記気体導入管 21 もしくは船体外板 12 との接続用のフランジ 22、23 が設けられている。また、船体外板 12 への接続側（下側）の端部には、船体の没水表面 12 から突出しかつ船体の前方（船首側）を臨んで軸方向に対して斜めに配される斜面 24（あるいは曲面）が設けられている。斜面 24 は、船尾方向に向かって徐々に船体の没水表面 12 からの高さが増すように設けられている。また、斜面 24 後方の側面 25 には、流体案内体 20 内の空洞の開口として、船体の後方（船尾側）を望む貫通穴からなる排出口 26 が設けられている。

さらに、斜面 2 4 の前方には、翼状の断面形状に形成される翼状部材（翼 3 0，3 1，3 2）が配設されている。

すなわち、図 2 0 及び図 2 1 に示すように、流体案内体 2 0 の前部において、船体の没水表面 1 2（図 1 9 A 及び図 1 9 B 参照）に対して所定の間隔で略平行に配される第 1 翼 3 0、第 1 翼 3 0 と船体外板 1 2 との間に配されて第 1 翼 3 0 を支持する第 2 翼 3 1，3 2 とが設けられている。翼 3 0，3 1，3 2 の形状は、NACA 翼型、オジバル翼型など様々な翼型が適用可能であり、船体の形状及び船速に応じて定められる。また、第 1 翼 3 0 は、前縁 3 0 a 及び後縁 3 0 b を船体の進行方向 Dve に向けるとともに、翼面 3 0 c（図 1 9 B 参照），3 0 d を上下方向に向け、さらに、航行時において上向きの揚力が作用する（航行時において、下方を臨む翼面 3 0 d に比べて上方を臨む翼面 3 0 c 側の流速が大きくなる）ように配設されている。なお、翼 3 0，3 1，3 2 により、船体の進行方向 Dve に沿って、鉛直方向上向きに凸となる湾曲した水路 3 5 が形成される。

図 1 9 B に戻ると、気体導入管（AIP : Air Induction Pipe）2 1 は、主として筒状の部材から構成され、船体 1 0 をほぼ貫通状態に敷設されるとともに、フラン 2 7 を介して流体案内体 2 0 に接続されている。気体導入管 2 1 と流体案内体 2 0 とが接続されることによって、その内部空間として流体通路 3 6 が形成される。この流体通路 3 6 は、気体導入管 2 1 の空気取入れ口 2 1 a を介して一端が気体空間（大気）に開放されるとともに、他端が前記排出口 2 6 を介して水中に開放されるようになっている。なお、流体通路 3 6（流体案内体 2 0 及び気体導入管 2 1 の内部空間）は、少ない圧力損失で所望の流量の流体が流動するように、その断面積や形状が定められている。

また、流体案内体 2 0 の各構成部材の形状や配置位置は、航行時に流体案内体 2 0 における水の流れが所望の状態になるように、数値流体力学（CFD : Computational Fluid Dynamics）による流場解析によって設計されている。

すなわち、例えば、所定の船速 Vs での航行時において、船体 1 0 に対する相対的な水の流れによって気体空間（大気）に対して低圧となる負圧箇所が流体案内体 2 0 の後方側の水中に形成されるように、船体の没水表面 1 2 からの流体案内体 2 0 の斜面 2 4 の突出高さなどが定められている。さらに、翼 3 0，3 1，

32により、その翼30, 31, 32の周りを循環する流れが生じ、その循環流れによって水路35及び流体案内体20の斜面24に沿って流れる水の流速が増大するように定められている。

なお、流体案内体20や気体導入管21の材質としては、例えば耐食処理された金属、あるいは樹脂など、主として表面が海水に対して耐食性を有し、さらに海成生物が表面に付着しにくいものが好ましく用いられる。なお、図19Bに示す符号28は、フランジ接続用のパッキンである。

次に、上述のように構成される摩擦抵抗低減船Mによる船体の摩擦抵抗低減方法について、図22A及び図22Bを参照して以下説明する。

停船状態においては、流体通路36（図19Bに示す流体案内体20及び気体導入管21の内部空間）に、船体10の周囲とほぼ同じ水位まで水（海水）が入り込んでいる。推進器13（図19A参照）の推力により船体10が航行状態になると、船体10に対して相対的な水の流れ40が形成される。

航行状態において、船底では、流体案内体20の斜面24によって水の流路が狭められることにより、船底に沿って流れる水の流速が増大するとともに、斜面24のその突出端の鋭い角により、水中に剥離域が形成される。これらにより、斜面24の背面側の水中において、静水圧が局所的に低下する。そして、船体10の航行速度が所定の船速 V_s （例えば標準航行速度）に達すると、斜面24の後方の水中において、大気に対して低圧となる負圧箇所41が形成される。

このとき、空気取入れ口21aにおける圧力に比べ、負圧箇所41に面した排出口26の圧力が低いために、流体通路36内の流体（海水及び空気）に対して圧力勾配力が作用し、流体通路36から海水が排出されるとともに、空気取入れ口21aから流入した空気が、流体通路36を流動して水中に送り込まれる。そして、水中に送り込まれた気体が気泡42として水に混入し、船体10の没水表面12の近傍に多数の気泡42が介在することにより、船体10の摩擦抵抗が低減される。

このとき、水中に空気を送り込むために必要なエネルギーは、主として気体の位置を変化させるためのエネルギーである。このエネルギーは、船体の没水表面12か

ら突出する流体案内体 20 の斜面 24 によって水の流動状態を変化させることで得られるものであり、加圧した気体を水中に噴出する場合に消費されるエネルギーに比べて少ない。そのため、船体 10 の摩擦抵抗低減により、航行時のエネルギー消費が効果的に低減される。

また、本実施形態では、側面 25 の突出端の鋭い角により、剥離域とともにキャビテーションが生じる。そのため、剥離域やキャビテーションによる攪拌作用により、気体と水との境界面で気体と水とが積極的に混合され、気液界面からの気泡 42 の離脱が促進される。

さらに、本実施形態では、流体案内体 20 の前部に翼 30, 31, 32 が配設されており、この翼 30, 31, 32 の周りに循環流れ Γ が生じる。すなわち、図 22B に示すように、第 1 翼 30 の周りにおいて、水路 35 側の翼面 30c に沿って船尾方向に、反対側の翼面 30d に沿って船首方向に流れる循環流れ Γ が生じる。このとき、水路 35 側の翼面 30c では没水表面 12 に沿って流れる水の流れ 40 と循環流れ Γ の速度が加わって流速が増大し、これによって、斜面 4 に沿って流れる水の流速が増大し、負圧箇所 41 の静水圧がさらに低下する。そのため、流体通路 36 内の流体に対する圧力勾配力が増して、多量の空気（気泡）が水中に放出される。

なお、図 22A 及び図 22B には示していないが、第 2 翼 31, 32 においても同様に、循環流れが生じるので、水路 35 及び斜面 24 に沿って流れる水の流速がさらに増大する。すなわち、翼 30, 31, 32 の周りに生じる循環流れ Γ により、斜面 24 の突出端 P における流速が増大し、負圧箇所 41 が発達して気泡 42 に対する水中への吸引力が増大する。これにより、水中に放出された多量の気泡 42 が没水表面 12 に介在するようになり、摩擦抵抗が効果的に低減される。また、循環流れ Γ は、低速航行時（例えば 10 ノット程度）においても生じるために、広範囲の航行速度に対して摩擦抵抗の低減効果を向上させることができる。

また、本実施形態では、第 1 翼 30 の周りの循環流れ Γ により、第 1 翼 30 の上下で圧力差が生じ、第 1 翼 30 を介して船体 10 に対して上向きの揚力 L_f が作用する。そして、この揚力 L_f により、船体 10 の特に船首側が浮上して、船

体 10 の浸水面積が減少し、船体 10 の摩擦抵抗がさらに低減される。

なお、負圧箇所 41 の形成には、流体案内体 20（翼 30，31，32 や斜面 24 など）の形状やレイノルズ数が主な支配因子となり、水深による不利が生じにくいと考えられるため、本発明に係る技術は、大型船への適用に有利である。

ところで、水中に混入された気泡 42 は、水深に応じた静水圧よりも低い内圧で形成される。そのため、一定の水深で気泡 42 が移動するとき（例えば船底に沿って気泡が移動するとき）、負圧箇所 41 から離れるに従って気泡 42 に大きな水圧が作用し、徐々に気泡 42 の大きさが小さくなる。本出願人らのこれまでの研究によれば、比較的小さい気泡のほうが船体の摩擦抵抗を低減するのに好ましいとされている。

また、負圧箇所 41 から離れるに従って気泡 42 に大きな水圧が作用することから、負圧作用によって発生した気泡 42 は、従来の加圧方式に比べて、拡散しにくい傾向にある。そのため、船体の没水表面 12 から気泡 42 が比較的離れにくく、船底付近の所定領域内に占める気泡 42 の量が多くなる。本出願人らのこれまでの研究によれば、所定領域内の気泡の量が多いほど、船体の摩擦抵抗を低減するのに好ましく、しかも没水表面 12 に近い気泡ほどその効果が高い。これらのことから、上述した負圧作用によって発生した気泡は、この点からも摩擦抵抗の低減に有利に働く。したがって、上述した流体案内体 20 を、船底の広さに応じて複数配置し、船底の複数箇所から気泡を放出することにより、摩擦抵抗の低減効果をさらに向上させることができる。

また、気泡発生装置 11 は簡素な構成であり、気体を加圧するための装置が不要であることから、船体 10 の建造コストが少なくて済むことはいうまでもない。

なお、上述した実施形態において示した各構成部材の諸形状や組み合わせ等は一例であって、本発明の主旨から逸脱しない範囲において設計要求等に基づき種々変更可能である。例えば、上述した実施形態では、本発明を肥大船に適用した例を示したが、これに限るものではなく、高速船や漁船など他の船にも適用可能である。また、気泡発生装置 11 の大きさや数、その配置場所といったものは、船体の形状に応じて適宜設定される。

F：第6実施形態

以下、本発明に係る摩擦抵抗低減船を、タンカーやコンテナ船等の肥大船に適用した一実施形態について、図面を参照して説明する。図23A及び図23Bにおいて、符号Mは摩擦抵抗低減船、10は船体、11は気泡発生装置、12は船体外板（没水表面）、13は推進器、14は舵、15は水面（喫水線）を示している。摩擦抵抗低減船Mとしての肥大船は、例えばVLC（Very Large Crude Oil Carrier）といったものがこれに該当し、他の種類の船舶に比べて、喫水線15下の船体外板12（没水表面）において船底の面積が船側に対して比較的大きく形成されている。

気泡発生装置11は、図23Bに示すように、船体の没水表面12（ここでは船底）に設けられる排出口20と、一端が空気取入れ口21aを介して気体空間に開放されるとともに他端が排出口20を介して水中に開放される流体通路21と、航行時における相対的な水の流れにより気体空間（大気）に対して低圧となる負圧箇所を排出口20近傍の水中に形成する負圧形成部22とを備えている。

負圧形成部22は、ここでは、船体の没水表面12から突出して配設されており、航行時において船体の没水表面12に沿って流れる水の流れを変化させ、剥離やキャビテーション、あるいは流速の増大に伴う静水圧の低下などの作用により、自身後方の水中に負圧箇所を形成するものである。

上記構成の摩擦抵抗低減船Mでは、航行状態において、水中に負圧箇所31（図23B参照）が形成されると、流体通路21の空気取入れ口21aに対して水中の負圧箇所31に面した排出口20の圧力が低くなり、流体通路21内の流体に圧力勾配力が作用して、空気取入れ口21aから流入した空気が排出口20から水中に放出される。そして、水中に送り込まれた気体が気泡32として水に混入し、船体10の没水表面12の近傍に介在することにより、船体10の摩擦抵抗が低減される。

ところで、この摩擦抵抗低減船Mでは、船体10の外殻を構成する部材によって流体通路21が形成されている。具体的には、図24A～図24Cに示すように、流体通路21は、甲板付近から船底10dに亙り、船体外板12に沿って敷

設されるダクト４０，４１の内部空間として形成されている。ダクト４０，４１は、船体１０の補強用の部材、ここでは船体外板１２を補強する部材として用いられている。

図２４Ｂはダクト４０，４１の断面構造を示す図である。すなわち、ダクト４０，４１は、所定の断面積を有する流路（流体通路２１）を内部に形成するように船体外板１２に接合されている。なお、この図２４Ｂでは、ダクト４０，４１は、矩形の断面を有する流路を形成しているが、これに限るものではなく、矩形以外の断面を有する流路を形成してもよい。ダクト４０，４１の形状やその内部空間である流体通路２１の形状は、少ない圧力損失で流体が移動するように船体１０の形状などに応じて適宜定められる。

また、図２４Ｃは、ダクト４０，４１の配設状態を示す船体の上から見た平図である。本実施形態では、ダクト４０，４１は、右舷１０ｂ及び左舷１０ｃに分けて複数（ここでは２つ）設けられており、これに伴って流体通路２１も左右に分けて形成されている。なお、ダクト４０，４１の材質としては、例えば耐食処理された金属、主として表面が海水に対して耐食性を有し、さらに海成生物が表面に付着しにくいものが好ましく用いられる。

本実施形態の摩擦抵抗低減船Ｍでは、船体１０の外殻を構成する部材であるダクト４０，４１によって流体通路２１が形成されるので、水中に気体を導くための配管を新たに敷設する必要がなく、部材や建造作業に要する労力を軽減して、建造コストの低減化を容易に図ることができる。特に、本実施形態が備える気泡発生装置１１は、水中に負圧箇所を形成し、圧力勾配力を利用して水中に気体を導く方式を採用していることから、気体を加圧するための装置が不要であるなど、加圧装置を備える従来の方式に比べて、極めて簡素な構成であり、建造コストの低減化に有利である。

また、この摩擦抵抗低減船Ｍでは、ダクト４０，４１が船体外板１２に沿って配設されるため、船体１０内部の空間のスペースを有効的に活用することが可能になる。さらに、本実施形態では、ダクト４０，４１が右舷１０ｂ及び左舷１０ｃに分けて設けられており、これに伴って流体通路２１が分けて形成されているので、例えば複数の流体通路２１の各空気取入れ口２１ａを選択的に開放するこ

とにより、気泡の放出量を容易に調節することが可能である。

図 25 は、本実施形態の変形例を示している。

この変形例では、右舷 10 b から左舷 10 c に亙り船体外板 12 に沿って配設されたダクト 50, 51, 52 によって流体通路 21 が形成されている。また、ダクト 50, 51, 52 は、船首 10 a から船尾に向かって間隔を開けて複数配設されており、各ダクト 50, 51, 52 の内部空間として形成される流体通路 21 に応じて複数の排出口 20 及び負圧形成部 22 が船底 10 c に配設されている。なお、本変形例におけるダクト 50, 51, 52 も上記実施形態と同様に、船体 10 の外殻を構成しかつ船体 10 を補強する部材ある。

本変形例では、右舷 10 b から左舷 10 c に亙って配設されたダクト 50, 51, 52 によって流体通路 21 が形成されるので、船幅方向の任意の位置に排出口 20 を設けることができるなど、排出口 20 や負圧形成部 22 の配設位置に制約が少ない。しかも、船首 10 a から船尾に向かって流体通路 21 が所定の間隔で複数形成されることから、船長方向にも排出口 20 を分けて設けることが可能である。すなわち、排出口 20 を船底 10 c に複数設け、気泡を広く没水表面に介在させて、摩擦抵抗低減効果の向上を図ることが可能になる。なお、流体通路 21 を形成するダクト 50, 51, 52 が船体 10 の補強用の部材であることから、ダクトを船体 10 に多数設けたり任意の位置に配したりといったことを容易に実施できるなど、設計の自由度が高い。また、流体通路 21 となる空間を予め船体に複数設けておくことにより、船体 10 が建造された後であっても、気泡を放出するための排出口 20 を必要に応じて設けることが可能である。

なお、上述した各構成部材の諸形状や組み合わせ等は一例であって、本発明の主旨から逸脱しない範囲において設計要求等に基づき種々変更可能である。例えば、上記実施形態では、本発明を肥大船に適用した例を示したが、これに限るものではなく、高速船や漁船など他の船にも適用可能である。また、気泡発生装置 11 の大きさや数、その配置場所といったものは、船体の形状に応じて適宜設定される。

請求の範囲

1. 船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減させる摩擦抵抗低減船であって、船体の航行に伴って気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成し、気体空間から水中の負圧箇所に気体を導くことにより前記没水表面に気泡を発生させる、摩擦抵抗低減船

2. 船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減させる方法であって、船体の航行に伴って気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成し、気体空間から水中の負圧箇所に気体を導くことにより前記没水表面に気泡を発生させる、船体の摩擦抵抗低減方法。

3. 船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減させる摩擦抵抗低減船であって、

船首の喫水線下に設けられた水取入口から取り入れた水に対して負圧状態を作ることにより水上の空気を水中に噴出して微小気泡を生成し、この微小気泡を水と共に船底の水排出口に排出する気泡発生手段を具備する、摩擦抵抗低減船。

4. 船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減させる摩擦抵抗低減船であって、

船体外板において、喫水線下の船首に設けられた水取入口と船底に設けられた水排出口とにかけて傾斜状に設けられると共に、その途中部位に空気排出口が設けられた水送通路と、

水上から前記空気排出口にかけて設けられた空気送通路と、

前記水送通路の内側に突出する状態で前記空気排出口を覆うように設けられると共に、その突出頂部近傍に空気噴出口が設けられた気体噴出部材とを備え、

前記空気噴出口の位置は、その静圧が水上の大気圧に対して負圧状態となるように設定される、摩擦抵抗低減船。

5. 水排出口の船底における位置は、船首近傍の船体幅方向の中央に設定される、請求項3または4記載の摩擦抵抗低減船。

6. 船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減させる方法であって、

船首の喫水線下に設けられた水取入口から取り入れた水に対して負圧状態を作ることにより水上の空気を水中に噴出して微小気泡を生成し、この微小気泡を水と共に船底の水排出口に排出する、船体の摩擦抵抗低減方法。

7. 水排出口の船底における位置を船首近傍の船体幅方向の中央に設定する、請求項6記載の船体の摩擦抵抗低減方法。

8. 船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する方法であって、

船体の航行に伴って気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成し、気体空間から水中の負圧箇所に気体を導くとともに、局所的に渦度が大きい水の流れを形成する、船体の摩擦抵抗低減方法。

9. 船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減船であって、

気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成するための負圧形成部と、
気体空間から水中の負圧箇所に気体を導くための流体通路と、

局所的に渦度が大きい水の流れを形成する離脱促進部とを備える、摩擦抵抗低減船。

10. 前記負圧形成部は、船体の没水表面から水中に向かって突出して配される翼と、該翼を支持するストラットと、前記翼に対して船体側に配する流水案内体とを備える、請求項9に記載の摩擦抵抗低減船。

11. 前記離脱促進部は、船体側に凸となるように形成された前記と、該翼形状に沿うように形成された前記流水案内体とにより形成される、請求項10に記載の摩擦抵抗低減船。

12. 船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減船において、

気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成するために、船体の没水表面から突出して設けられる負圧形成部と、

水中の負圧箇所に向けて気泡を放出するための排出口と、

気体空間から水中に気体を導くために、一端が気体空間に開放されるとともに他端が前記排出口を介して水中に開放される流体通路とを備え、

前記排出口は、船体の没水表面に対して斜めに配設された斜面に設けられている、摩擦抵抗低減船。

13. 前記斜面は、船体の没水表面に設けられる窪みの内部から外部に亘って配設されている、請求項12に記載の摩擦抵抗低減船。

14. 船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減船において、

気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成するために、船体の没水表面から突出して設けられる負圧形成部と、

水中の負圧箇所に向けて気泡を放出するために、前記負圧形成部の後方に設けられる排出口と、

気体空間から水中に気体を導くために、一端が気体空間に開放されるとともに他端が前記排出口を介して水中に開放される流体通路と、

前記負圧箇所に向けて気体を供給する気体供給装置とを備える、摩擦抵抗低減船。

15. 船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減方法において、

船体の航行に伴って気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成し、気体空間から水中の負圧箇所に気体を導いて、水中に気泡を放出するとともに、所の装置によって負圧箇所に向けて気体を供給する、船体の摩擦抵抗低減方法。

16. 船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減方法において、

船体の航行に伴って気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成し、気体空間から水中の負圧箇所に気体を導くとともに、前記負圧箇所を発達させる循環流れを翼によって水中に生じさせる、船体の摩擦抵抗低減方法。

17. 船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減船において、

船体の没水表面に設けられ、気体空間に対して低圧となる負圧箇所を水中に形成する負圧形成部と、

前記負圧形成部の後方に設けられ、水中の負圧箇所に向けて気泡を放出する排

出口と、

一端が気体空間に開放されるとともに他端が前記排出口を介して水中に開放される流体通路とを備え、

前記負圧形成部には、翼状の断面形状に形成される翼状部材が配設される、摩擦抵抗低減船。

18. 前記翼状部材は、上向きの揚力が生じるように配設される、請求項17に記載の摩擦抵抗低減船。

19. 船体の没水表面に気泡を放出して船体の摩擦抵抗を低減する摩擦抵抗低減船において、

水中に気泡を放出するために船体の没水表面に設けられる排出口と、

一端が気体空間に開放されるとともに他端が前記排出口を介して水中に開放される流体通路とを備え、

前記流体通路の少なくとも一部は、船体の外殻を構成する部材によって形成される、摩擦抵抗低減船。

20. 前記流体通路を形成する部材の少なくとも一部は、船体の補強用の部材である、請求項19に記載の摩擦抵抗低減船。

21. 前記流体通路は、複数に分けて形成される、請求項19または請求項20に記載の摩擦抵抗低減船。

本発明は、空気 A を船体外板 1 から水中に噴出することにより船体外板 1 の表面近傍に微小気泡 B を介在させて船体外板 1 と水 W との摩擦抵抗を低減させる摩擦抵抗低減船において、特徴的な構成として、喫水線 WL 下の船首 1 a に設けられた水取入口 2 a から取り入れた水 W に対して負圧状態を作ることにより水上の空気を水中に噴出して微小気泡 B を生成し、この微小気泡 B を水と共に船底 1 b の水排出口 2 b に排出するものである。